

С. В. Роголін, старший науковий співробітник
лабораторії інженерно-технічних та військових досліджень,
Національний науковий центр «Інститут судових експертиз
ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса», м. Харків
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1934-8977>
email: rohalin@i.ua

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИЛАДІВ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ЩО ЗАЗНАЛИ ВПЛИВУ РАДІОЧАСТОТНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета статті полягає в упорядкуванні теоретичних засад і розширенні методичної бази інженерно-технічних експертних досліджень приладів обліку електричної енергії, які зазнали впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання, при встановленні факту втручання в його роботу з метою необлікованого споживання електричної енергії. **Методологія.** Достовірність отриманих результатів і висновків, що ґрунтувалися на узагальненні відомостей про об'єкти дослідження в судових експертизах, виконуваних в Національному науковому центрі «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса», забезпечено використанням комплексу загальнонаукових і спеціальних методів, зокрема формально-логічних, порівняння та моделювання. **Наукова новизна.** У контексті електротехнічного дослідження приладів обліку електричної енергії уточнено механізм впливу електромагнітного поля в радіочастотному діапазоні на відповідність обліку електричної енергії та систематизовано теоретичні засади застосування електромагнітного екранування. Запропоновано поділ конструктивного виконання приладів обліку електричної енергії на групи за ознаками захисту від впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання. **Висновки.** Систематизовано нормативні вимоги, що встановлені до стійкості приладів обліку електричної енергії від дії впливу на них радіочастотного електромагнітного випромінювання. Окреслено механізм впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання та визначено конструктивні елементи приладів обліку, чутливі до дії такого випромінювання. Теоретично обґрунтовано застосування електромагнітного екранування як дієвого технічного засобу запобігання впливу електромагнітного поля у радіочастотному діапазоні на відповідність обліку електричної енергії. Запропоновано поділ конструктивного виконання приладів обліку електричної енергії на групи за ознаками захисту від впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання.

Ключові слова: прилад обліку електричної енергії; втручання в роботу приладу обліку; аналого-цифровий перетворювач; електромагнітне випромінювання; частота випромінювання; електромагнітне поле; рівняння Максвелла; напруженість; індукція; вектор Умова – Пойнтінга; електромагнітне екранування.

Вступ

Дослідження фактів та обставин необлікованого споживання електричної енергії, що належать, засвідчує практика електротехнічних судових експертиз, до найпоширеніших, потребують використання спеціальних знань із різних галузей науки і техніки (Horbenko et al., 2012; Lukianchykov, Ye. D., Lukianchykov, B. Ye., & Petriaiev, 2019; Piliukov, 2019). Зокрема, основ теорії електромагнітного поля (Govorkov, 1960; Goldshtein, & Zernov, 1971), впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання на роботу електронних приладів обліку з визначенням конструктивних елементів у їхній будові, чутливих до такого виду випромінювання (Khodakovskiy, Levchenko, Kolumbet, Kozachuk, & Kuzhavskiy, 2021; Morozov, & Ivanov, 2021), інших знань (Starodubtsev, & Akishin, 2018; Semchuk, 2019), виконання електротехнічних досліджень приладів обліку електричної енергії (далі – ПО),

окремих особливостей судових експертиз за цим напрямом (Tsyruk, & Matiunina, 2017; Shmereho, 2017; Burenina, 2019; Bohdaniuk, Rohalin, & Suprun, 2020; Rohalin, Bohdaniuk, & Lâsâi, 2021).

Наразі дослідження в судових експертизах із встановленням втручання в роботу приладів обліку електричної енергії проводять відповідно до Методики дослідження засобів обліку електричної енергії та схем їх підключення з метою вирішення діагностичних завдань. Цією Методикою окреслено загальний алгоритм дослідження ознак втручання в ПО (наявність механічних, інших пошкоджень корпусу, захисних елементів, волосіні та пристроїв пломбування, індикаторів розкриття, магнітного та електромагнітного впливу тощо) і передбачено інструментальне підтвердження поміж іншого технічної можливості впливу на досліджуваний прилад обліку з метою викривлення обліку із застосуванням наданих органом або особою, які ініціювали проведення дослідження,

додаткових пристроїв, апаратів, механізмів – радіочастотні випромінювачі, джерела електромагнітного поля, джерела постійного магнітного поля та ін. (Sabadash et al. (Uklad.), 2015). Проте сьогодні висновок у судовій експертизі про можливість впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання на досліджуваний прилад обліку додатково ґрунтується на інших джерелах (among them: Govorkov, 1960; Goldshtein, & Zernov, 1971; Landau, & Lifshitz, 1988; Maksvell, 1989; Nikol'skii, & Nikol'skaia, 1989), в яких електромагнітна сумісність окремих компонентів, а саме інтегральних мікросхем (Kliuchnik, Pirogov, & Solodov, 2011; Morozov, & Ivanov, 2021), а також питання електромагнітного екранування (Shapiro, 1975; Maksimov et al., 1976; Priimenko, & Lukin, 2018) мають інженерне опрацювання (Kniazhev, Kechiev, & Petrov, 1989; Baranov, 2016; Panova, 2021), зважаючи на характеристичні параметри джерел випромінювання, які утворюють електромагнітне поле впливу.

Тому на часі розроблення теоретичних основ виконання експертних досліджень приладів обліку електричної енергії, що зазнали впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання, систематизація основ теорії електромагнітного поля, впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання на роботу електронних приладів обліку з визначенням конструктивних елементів в їх будові, чутливих до такого виду випромінювання, що й зумовлює актуальність обраної тематики і визначає напрями наших подальших розвідок.

Мета й завдання дослідження

Мета статті полягає в упорядкуванні теоретичних засад і розширенні методичної бази інженерно-технічних експертних досліджень приладів обліку електричної енергії, які зазнали впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання при встановленні факту втручання в його роботу з метою необлікованого споживання електричної енергії.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

окреслити нормативні вимоги, встановлені до стійкості приладів обліку електричної енергії від впливу на них радіочастотного електромагнітного випромінювання;

з'ясувати механізм впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання та визначити конструктивні елементи приладів обліку, чутливі до дії такого випромінювання;

систематизувати теоретичні засади застосування електромагнітного екранування;

класифікувати конструктивні виконання приладів обліку електричної енергії та за будовою (зокрема за ознаками захисту від впливу радіо-

частотного електромагнітного випромінювання) виокремити групи сприйнятливості до радіочастотного випромінювання, зумовлені конструктивними особливостями ПО;

сформулювати відповідні пропозиції з подальшим розробленням методичних рекомендацій щодо проведення дослідження визначення впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання на досліджуваний прилад обліку.

Виклад основного матеріалу

Можливість застосування статичних (електронних) лічильників ват-годин із різною будовою лічильного механізму, як електронною, так і електромеханічною, регламентовано міждержавними стандартами (МТК 232 «Апаратура для вимірювання електричної енергії та контролю навантажень», 2000, ГОСТ 30206-94; МТК 232 «Апаратура для вимірювання електричної енергії та контролю навантажень», 2000, ГОСТ 30207-94), що автентичні відповідним міжнародним стандартам, з додатковими вимогами, які відбивають потреби економіки країни.

Вимірювання споживання електричної енергії електронними вимірювальними приладами передбачає виконання перетворення аналогового електричного сигналу, пропорційного обсягу споживання електричної енергії, на цифровий. Аналізуючи використання перетворювачів аналогових вихідних сигналів навігаційних приладів у цифрову форму, О. М. Безвесільна та Н. П. Коротченко наголошували, що «перетворення аналогового сигналу у цифрову форму полягає у вимірюванні миттєвих значень його амплітуди через рівні проміжки часу і представленні отриманих значень, званих відліками, у вигляді послідовності чисел. Ця процедура називається аналого-цифровим перетворенням, а пристрій для її реалізації – аналого-цифровим перетворювачем (АЦП)» (Bezvesilna, & Korotchenko, 2013, s. 37). Такий принцип вимірювання реалізовано в усіх сучасних статичних (електронних) приладах обліку електричної енергії. Наприклад, у настанові з експлуатації лічильника типу НІК 2303L ... Е зазначається: «Вимірювання активної та реактивної електричної енергії проводиться шляхом аналого-цифрового перетворення електричних сигналів, що надходять від первинних перетворювачів сили струму і напруги на вхід вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера, який перетворює сигнали в цифровий код. Мікроконтролер розраховує середньоквадратичне значення сили струму, напруги, потужності, поточне значення коефіцієнта потужності по кожній фазі, а також значення активної і реактивної енергії сумарно і по кожному тарифу» (ТОВ «НИК», b. d., AAShKh.411152.012 NE, p. 1.4.1).

Відомо, що вплив радіочастотного електромагнітного випромінювання на напівпровідникові прилади, насамперед на інтегральні мікросхеми (ІМС), призводить до їх невідповідної роботи у складі електронної схеми. Розглядаючи методичні аспекти дослідження стійкості інтегральних мікросхем в електромагнітних полях імпульсного радіовипромінювання, фахівці (Клиучник, Pirogov, & Solodov, 2010, s. 12–13) дійшли висновку, що залежно від рівня поглиненої елементами мікросхеми НВЧ потужності виокремлюються такі спостережувані порушення працездатності ІМС, що визначають її стійкість: перешкоди та оборотні відмови з відновленням нормальних характеристик і параметрів після припинення впливу радіовипромінювання; деградаційні зміни параметрів і характеристик із повільним погіршенням технічних характеристик виробів у процесі експлуатації та виходом робочих параметрів виробу за межі встановлених допусків; швидкі «катастрофічні» відмови з незворотним порушенням працездатності.

Проте, засвідчує судово-експертна практика дослідження приладів обліку, що зазнали впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання, трапляється, що в разі, коли невідповідна робота ІМС є наслідком блокування передаточної характеристики ІМС (мікроконтролера ПО) у результаті впливу електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону, що не призвів до деградаційної зміни або до «катастрофічної» відмови в роботі ПО (зазвичай досліджуються випадки роботи ПО, коли припинення дії випромінювання відновлює відповідну роботу мікроконтролера та всієї електронної схеми ПО), постають питання встановлення факту необлікованого споживання електричної енергії.

Слід зауважити, що в разі впливу радіочастотного випромінювання на вимірювальну апаратуру, у складі якої застосовані ІМС, процеси, які виникають у напівпровідникових і діелектричних плівкових мікроструктурах, визначаються прикладеними напругами та наведеними струмами, величина яких залежить від геометричних розмірів цих мікроструктурних елементів та їх орієнтації відносно спрямованості електромагнітного поля, так званих поляризаційного чинника та «антенного» механізму впливу. Набувають певної ваги для визначення ступеня впливу на роботу всієї схеми й зовнішні елементи, що забезпечують роботу цієї ІМС. Тобто через певну невизначеність (конструктивного, зокрема монтажного, виконання; характеристик електромагнітного поля впливу, утвореного конкретним джерелом із параметрами, які визначають його потужність, або здатність створити напруженість поля, більшу за

допустиму (нормативно встановлену); напрямку випромінювання, що обумовлений діаграмою направленості антенного пристрою; ступеня поляризації тощо) «вразливість», або міра впливу на ПО певної конструкції із застосуванням ІМС разом із радіоелементами зовнішньої схеми, у складі якої працює ІМС, має бути досліджена в кожному випадку. Саме тому для виробників електронних лічильників висунуто певні вимоги, що мають бути реалізовані в конкретному конструктивному виконанні для уникнення впливу зовнішніх чинників, якщо йдеться про електромагнітну сумісність, – унеможливлення впливу електромагнітних завад також і від радіочастотного випромінювання електромагнітного поля. Приміром, галузевим стандартом СОУ Н МРЕ 40 1 35 110-2005 передбачено: «Лічильники електронні повинні бути стійкими до впливу радіозавад від іскрових розрядів напругою до 15 кВ через повітряний зазор, створюваних, наприклад, при роботі електропобутових приладів. Після припинення їх дії на працюючий лічильник:

- покази лічильника не повинні мати спричинених цим впливом додаткових змін, більших ніж 0,1 кВт·год, а на випробувальному виході не повинно утворюватись більше, ніж відповідне цьому число імпульсів;

- лічильник не повинен зазнавати пошкоджень, а основна похибка повинна залишатися в границях нормованих значень» (*Ministerstvo palyva ta enerhetyky Ukrainy, 2005, SOU-N MPE 40 1 35 110-2005, p. 5.6.*)

Граничне значення напруженості електромагнітного поля, що змінюється в радіочастотному діапазоні протягом тривалого часу, за вимогами ДСТУ EN 50470-3:2010, згідно з якими виробник приладу обліку має дотримуватись обліку електричної енергії з певною похибкою (для відповідного класу точності), не має перевищувати 10 В/м (*DP «Ukrmetrteststandart», 2010, p. 8.5.*) Слід наголосити, що підприємства – виробники приладів обліку встановлюють власні показники несприйнятливості до випромінювання електромагнітних полів у радіочастотному діапазоні. Наприклад, у настанові з експлуатації приладу обліку NIK 2104...P2 зазначено, що «лічильники несприйнятливі до високочастотних електромагнітних полів» (*ТОВ «НИК», б. д., ААШХ.411152.014, p. 1.2.20.*) За ДСТУ 3254-95, високі частоти становлять радіочастоти, обмежені діапазоном від 3 до 30 МГц (*Konstruktorske biuro «Shtorm» Kyivskoho politekhnichnoho instytutu, 1995, DSTU 3254-95, p. 4.34.*) Тобто в досліджуваному випадку сприятливість ПО варто розуміти як таку, що впливає на облік електричної енергії в діапазоні частот, що перевищують високі частоти від 3 до 30 МГц.

З цього випливає, що, зважаючи на вимоги підприємства-виробника досліджуваного ПО щодо прийнятливості до радіочастотного випромінювання, а також судово-експертну практику дослідження втручання в роботу ПО, дослідження прийнятливості ПО до радіочастотного випромінювання слід виконувати в дуже високих (ДВЧ) – 30–300 МГц, ультрависоких (УВЧ) – 300–3000 МГц і надвисоких (НВЧ) – 3–30 ГГц частотних діапазонах (*Konstruktorske biuro «Shtorm» Kyivskoho politekhnichnoho institutu*, 1995, DSTU 3254-95, pp. 4.35–4.37).

Водночас, засвідчує судово-експертна практика, втручання в роботу приладів обліку шляхом утворення радіочастотного випромінювання з частотою, що відповідає НВЧ-діапазону, не поширено, а в діапазоні частот, що перевищують НВЧ, під час статистичного опрацювання судових експертиз за цим напрямом дослідження в Харківському НДІСЕ випромінювання навіть не зафіксовано.

Загалом джерелом випромінювання з утворенням електричного поля у ДВЧ – УВЧ – НВЧ-діапазоні можна вважати симетричний вібратор, або диполь. Випромінювання диполя характеризується певним розподіленням електричного заряду в середовищі, яке описується системою рівнянь Максвелла (наведено в інтегральній і диференціальній формі; нумерація рівнянь не відповідає їх нумерації в перекладі «Трактату» Maxwell, 1989, t. 2, s. 205 – 215).

Перше рівняння

Циркуляція \vec{E} по будь-якому контуру L дорівнює зі знаком мінус похідній за часом від магнітного потоку через будь-яку поверхню, обмежену контуром

$$\oint (\vec{E} d\vec{l}) = - \int \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} \right).$$

Рівняння виражає закон електромагнітної індукції Фарадея. Змінне магнітне поле збуджує змінне електричне поле.

Перше рівняння у диференціальній формі має такий вигляд:

$$\operatorname{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

Друге рівняння

Циркуляція \vec{H} будь-яким замкнутим контуром L дорівнює повному струму (сумі струмів провідності та струмів зсуву) через довільну поверхню, обмежену контуром

$$\oint (\vec{H} dl) = \int \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S} \right).$$

Вихрове електричне поле збуджує вихрове магнітне поле. Рівняння виражає закон повного струму Біо – Савара – Лапласа.

Друге рівняння в диференціальній формі має такий вигляд:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}. \quad (1)$$

Третє рівняння

Потік \vec{D} крізь будь-яку замкнуту поверхню дорівнює алгебраїчній сумі сторонніх зарядів, що охоплюються цією поверхнею, тобто виражає теорему Гауса

$$\oint (\vec{D} d\vec{S}) = \int \rho dV.$$

Третє рівняння в диференціальній формі має такий вигляд:

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho.$$

Четверте рівняння

Потік \vec{B} крізь довільну замкнуту поверхню дорівнює нулю

$$\oint (\vec{B} d\vec{S}) = 0.$$

Четверте рівняння в диференціальній формі має такий вигляд:

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0.$$

Оскільки електричне та магнітне поля взаємопов'язані, з'ясовуючи характерні відмінності цих полів, потрібно застосовувати наведені в рівняннях Максвелла параметри:

векторні:

B – індукція магнітного поля, Тл;

H – напруженість магнітного поля, А/м;

D – індукція електричного поля, Кл;

E – напруженість електричного поля, В/м;

J – електричний струм, утворений напруженістю електричного поля провідності електричного заряду ($E_{\text{кул}}$) і напруженістю електричного поля зсуву ($E_{\text{зс}}$), А;

скалярні:

$\epsilon_a, \epsilon_r, \epsilon_0$ – електричні постійні («діелектрична проникність») абсолютна, реальна та відносна, Ф/м;

μ_a, μ_r, μ_0 – магнітні постійні («магнітна проникність») абсолютна, реальна та відносна, Гн/м;

ρ – щільність заряду на одиницю довжини, площі чи об'єму, Кл/м;

σ – питома електрична провідність, См/м.

Зазначені скалярні величини характеризують середовища, в яких у досліджуваних випадках існують електричні та магнітні поля. Для розрахунку полів у системі рівнянь Максвелла застосуємо

такий зв'язок:

$$\begin{aligned}\vec{D} &= \varepsilon\varepsilon_0\vec{E} \\ \vec{B} &= \mu\mu_0\vec{H} \\ \vec{j} &= \sigma(\overrightarrow{E_{кул}} + \overrightarrow{E_{зс}}).\end{aligned}$$

Загалом зв'язок між \vec{D} і \vec{E} , а також \vec{B} і \vec{H} не лінійний.

Друге рівняння Максвелла в диференціальній формі (1) може бути записано як рівняння узагальненого струму – струму провідності ($I_{пр}$) і струму зсуву ($I_{зс}$) відповідно:

$$I_{пр} + I_{зс} = \frac{d}{dt} \int_S (D + J) dS = \int_S \left(\frac{\partial D}{\partial t} + J \right) dS. \quad (2)$$

Після застосування до цього виразу теореми Остроградського – Гаусса узагальнений струм через будь-яку замкнену поверхню дорівнює нулю

$$\oint_S \left(\frac{\partial D}{\partial t} + J \right) dS = I_{пр} + I_{зс} = 0.$$

Третє рівняння Максвелла (відоме також як теорема Гаусса) доводить, що потік \vec{D} через деяку замкнену поверхню S перетворюється на нуль не тільки за відсутності заряду всередині поверхні S , а й нейтралізації, коли повний позитивний заряд врівноважується від'ємним.

Ці узагальнення другого й третього рівнянь Максвелла, застосування теореми Остроградського – Гаусса набувають ваги в дальшому розгляді питань електромагнітного екранування досліджуваних ПО під впливом електромагнітного випромінювання у ДВЧ – УВЧ – НВЧ-діапазоні.

З джерел науково-технічної інформації, потужність електромагнітного випромінювання визначається як густина потоку електромагнітної енергії (вектора Умова – Пойнтінга) через довільну поверхню S за одиницю часу, тобто (Nikolskii, & Nikolskaia, 1989, s. 52):

$$W = \int_S \vec{P} dS,$$

де \vec{P} – вектор Умова – Пойнтінга;
 $\vec{P} = [\vec{E}, \vec{H}]$ – результат векторного добутку;
 dS – елемент довільної поверхні S .

Відомо, що E та H (напруженість відповідно електричного та магнітного полів у вільному просторі) пов'язані між собою таким рівнянням

$$E = \rho_{св} H,$$

де $\rho_{св} = 377 \text{ Ом}$ – хвильовий опір вільного простору.

Кількість енергії (електричної та магнітної) у будь-якому малому просторі dV періодично змі-

нюється від нуля до максимуму та визначається для складових (електричної та магнітної) окремо як

$$W_E = \int_V \frac{DE}{2} dV;$$

$$W_M = \int_V \frac{BH}{2} dV.$$

Тобто на поширенні (переносі) електромагнітної енергії, за теоремою Умова – Пойнтінга, відбивається хвильовий опір навколишнього середовища, що також засвідчує рівняння узагальненого струму (2) (Nikolskii, & Nikolskaia, 1989, s. 38), доводячи залежність від параметрів ε та σ , які характеризують середовище, де передається електромагнітна енергія:

$$J + \frac{\partial D}{\partial t} = \sigma E + \varepsilon_0 \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t}. \quad (3)$$

У досліджуваних випадках впливу на ПО електромагнітного випромінювання у ДВЧ – УВЧ – НВЧ-діапазоні зміна поля з перебігом часу описується функцією $\cos \omega t$ (де ω – колова частота, пов'язана виразом $\omega = 2\pi f$ з частотою f , що вимірюється в герцах – Гц). Виконуючи диференціювання за часом виразу (3), можна отримати відношення амплітуд струму та індукції електричного поля

$$\frac{J_m}{\left(\frac{\partial D}{\partial t}\right)_m} = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon}. \quad (4)$$

Права частина рівняння (4) характеризує матеріал як провідний чи діелектричний залежно від частоти поля, що набуває ваги, коли визначають вплив на чутливі складові елементи досліджуваних ПО та під час екранування цих чутливих елементів у певних конструктивних виконаннях досліджуваних ПО. Загалом поширення в середовищі електромагнітного поля (потік енергії) ДВЧ – УВЧ – НВЧ-діапазону відбувається з переходом через межу розділу середовищ відповідно до виразу (4). Тому досягнення певних значень індукції електричного поля та узагальненого струму залежить від застосування екранування в конструкції досліджуваного ПО, зумовлюючи можливість досягнення нормативно встановленого граничного рівня напруженості електричного поля – 10 В/м, що є визначальним для конструктивного забезпечення впливу на чутливі елементи схеми досліджуваних ПО. Ефективність екранування внутрішнього простору (проникнення електромагнітної хвилі за екран) від падіння електромагнітної хвилі визначається як сумарна величина від хвилі падіння, хвилі відбиття, глибини проникнення хвилі, згасання хвилі, первинного

відбиття хвилі в матеріалі екрана, повторного відбиття хвилі в матеріалі екрана.

Пояснюючи принцип роботи електромагнітного екрана, Д. Н. Шапіро зазначав, що під впливом первинного поля (поля джерел) на поверхні екрана індуються заряди, а в його товщі – струми та магнітна поляризація. Ці заряди, струми та поляризація утворюють вторинне поле. Від накладання вторинного поля на первинне утворюється результуюче поле, яке в області простору, що захищається, виявляється слабшим за первинне (Shapiro, 1975, s. 6). Як зазначалося раніше, внаслідок неодноразового відбиття, згасання та накладання результуюче поле слід розглядати як систему з розподіленими параметрами з власними частотами для встановлення існування резонансних явищ, що можуть виникати в додаткових умовах, а саме в разі такого конструктивного виконання екранів, які мають складну геометричну форму, отвори та щілини з певними лінійними розмірами. Важливим є також матеріал провідного екрана (магнітний або немагнітний). Д. Н. Шапіро, визначаючи залежність ефективності екрана від характеру джерела поля, довжини хвилі λ (частоти f), відстані до джерела впливу (радіус r), а також від співвідношення напруженості електричного (E) та магнітного (H) полів у місці розміщення чутливого екранованого елемента, наголошує, що зі зменшенням r або збільшенням λ (зменшенням частоти f) відношення E до H у разі електричного диполя зростає, роль магнітного складника спадає, поле розглядатиметься як квазіелектростатичне. За $f = 0$ поле виявляється електростатичним. У разі магнітного диполя відношення E до H зменшується, спадає роль електричного складника, поле розглядатиметься як квазімагнітостатичне. За $f = 0$ – поле магнітостатичне (Shapiro, 1975, s. 8).

У разі фактичної зміни кількісних значень параметрів та їх миттєвого складу, що позначається на ефективності екранування чутливих елементів досліджуваних ПО, постає необхідність математичного моделювання фізичного процесу або інструментальних досліджень впливу електромагнітного поля на відповідність обліку електричної енергії до визначення величини напруженості електричного поля. Тобто дослідження випадків впливу електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону потребує експертного дослідження для встановлення похибки обліку спожитої електричної енергії та визначення напруженості електричного поля, утвореного наданим на дослідження джерелом електромагнітного випромінювання від його наближення до ПО (його чутливих елементів). Якщо джерела випромінювання для експертного дослідження не надано, моделюють

картину поля, застосовуючи математичний апарат (метод скінченних елементів) і теоретично обґрунтовуючи визначення ефективності електромагнітного екранування. Аналізом числового розрахунку побудованої моделі та застосованого методу обчислюється кількісне значення напруженості електричного поля певної частоти залежно від відстані до змодельованого джерела випромінювання для порівняння із нормативним значенням. За наведеним теоретичним обґрунтуванням зроблено висновок, що застосування електромагнітного екранування є дієвим технічним засобом у конструктивному виконанні приладу обліку електричної енергії для запобігання впливу електромагнітного поля в радіочастотному діапазоні на відповідність обліку спожитої електричної енергії.

Узагальнення після опрацювання результатів практики дослідження ПО електричної енергії, які зазнали впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання (у визначеному діапазоні частот), дозволяє (Rohalin, Bohdaniuk, & Lâsâi, 2021, s. 276–277) систематизувати конструктивні виконання приладів обліку електричної енергії та за будовою (зокрема за ознаками захисту від впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання) виокремити три групи сприйнятливості до радіочастотного випромінювання, зумовлені конструктивними особливостями ПО (ІМС).

До першої належать ПО, які не містять конструктивних елементів захисту вразливих компонентів, чутливих до радіочастотного випромінювання у ДВЧ – УВЧ – НВЧ-діапазоні. Характеризуються вони високим рівнем сприйнятливості до цього випромінювання і є найбільш вразливими до його дії. Вплив такого радіочастотного випромінювання на достовірний облік електричної енергії в межах нормованої (встановленої нормативно-технічними документами) похибки, визначеної підприємством-виробником, поширюється на ПО з різною будовою лічильного механізму, як електронною, так і електромеханічною. До таких належать прилади обліку електричної енергії торгової марки «Енергомера» типу ЦЭ6803В і СЕ 301 R33 або прилад обліку типу Меркурий 230 AR-03R. При цьому за певними особливостями (складаються з окремих радіоелементів, характеризуються відсутністю ІМС або мають низький рівень застосування інтегральних мікросхем із великою кількістю радіоелементів) вирізняється підгрупа ПО, що мають дещо більшу стійкість до радіочастотного випромінювання в окремих частинах визначеного діапазону випромінювання. До таких можна віднести прилад обліку електричної енергії типу СТ-ЭА05, що має порівняно великі розміри, а в його будові застосовано вивідний,

наскрізний тип монтажу окремих радіоелементів загального конструктивного виконання в отвори на друковану плату без використання інтегральних збірок, а схемне застосування ІМС є незначним.

Другу групу становлять ПО, у конструкції яких застосовано електромагнітні екрани. За конструктивним виконанням вирізняються розмірами та будовою екранів. Екранування ПО може бути *суцільним* (наприклад, у приладі обліку електричної енергії типу ET 3A5E7KLRT підприємства-виробника СП ТОВ «ЕЛВІН» суцільний електромагнітний екран виготовлений у вигляді прямої призми, що складається з двох частин та має роз'єм по одній грані) або *частковим* (зазвичай застосовуються екрани призматичної форми, у яких відсутня одна грань, до таких також належать ПО із суцільним екраном, що захищає тільки окремі чутливі елементи електричної схеми (ІМС). До прикладу, прилад обліку електричної енергії типу SL 7000 підприємства-виробника «Itron (Actaris) Україна»). Слід наголосити, що ПО, віднесені до цієї групи сприйнятливості до радіочастотного випромінювання, вирізняються порівняно з представниками першої групи високою стійкістю до радіочастотного випромінювання у ДВЧ – УВЧ – НВЧ-діапазоні.

До третьої групи сприйнятливості до радіочастотного випромінювання віднесені ПО, у конструкції яких як опція (із зазначенням відповідного маркування на паспортній табличці – щитку ПО) передбачено вбудований датчик впливу електромагнітного поля – інтегрований складник конструктивної частини приладу обліку електричної енергії. Тобто оснащення приладу обліку саме таким додатковим конструктивним пристроєм практично не змінює захист приладу обліку від радіочастотного випромінювання у ДВЧ – УВЧ – НВЧ-діапазоні, але фіксує наявність випромінювання в разі існування або появи впливу з певними характеристичними параметрами. Таким є прилад обліку електричної енергії типу НІК 2303L АП1 МС Е підприємства-виробника ТОВ «НІК». Літера «С» у маркуванні ПО засвідчує наявність вбудованого датчика електромагнітного поля. Слід зазначити, що за будовою захисту ПО, віднесені до першої і третьої групи сприйнятливості до радіочастотного випромінювання, фактично не відрізняються. Проте оснащення ПО, що належать до третьої групи, інтегрованим пристроєм фіксації впливу радіочастотного випромінювання у ДВЧ – УВЧ – НВЧ-діапазоні, вирізняє їх за конструктивною будовою та відокремлює від першої та другої групи сприйнятливості до радіочастотного випромінювання. «При впливі на лічильник електромагнітного поля напруженістю більше 10 В/м в діапазоні частот від 80 до 500 МГц протягом більше 3 с:

– на дисплеї з'являється повідомлення «Error radio»;

– у журналі подій лічильника формується запис про вплив електромагнітного поля» (ТОВ «НІК», b. d., ААShKh.411152.012 NE, p. 1.12).

Тому саме третя група ПО найбільш інформативна під час встановлення джерела радіочастотного випромінювання електромагнітного поля з метою необлікованого споживання електричної енергії.

Наукова новизна

У контексті електротехнічного дослідження приладів обліку електричної енергії уточнено механізм впливу електромагнітного поля в радіочастотному діапазоні на відповідність обліку електричної енергії та систематизовано теоретичні засади застосування електромагнітного екранування. Запропоновано поділ конструктивного виконання приладів обліку електричної енергії на групи за ознаками захисту від впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання.

Висновки

1. Окреслено нормативні вимоги, встановлені до стійкості приладів обліку електричної енергії від впливу на них радіочастотного електромагнітного випромінювання, що дозволило їх впорядкувати та сформулювати єдиний методичний підхід для проведення експертних досліджень за цим напрямком.

2. З'ясовано механізм впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання на облік електричної енергії, що полягає у встановленні фізичних процесів, які відбуваються в чутливих до дії електромагнітного випромінювання конструктивних елементах приладів обліку. Визначено конструктивні елементи приладів обліку, чутливі до дії такого випромінювання, до яких належать напівпровідникові, провідникові та діелектричні плівкові мікроструктури інтегральних мікросхем.

3. Систематизовано теоретичні засади застосування електромагнітного екранування як дієвого технічного засобу в конструктивному виконанні приладу обліку електричної енергії для запобігання впливу електромагнітного поля в радіочастотному діапазоні на відповідність обліку спожитої електричної енергії.

4. За будовою приладів обліку електричної енергії (зокрема за ознаками захисту від впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання) вирізняє три групи сприйнятливості до радіочастотного електромагнітного випромінювання. За групами сприйнятливості до радіочастотного електромагнітного випромінювання класифіковано конструктивне виконання приладів

обліку електричної енергії та наведено приклади класифікації окремих типів приладів обліку електричної енергії.

5. У процесі викладення основного матеріалу сформульовано пропозиції, що можуть постати

частиною відповідних методичних рекомендацій під час виконання експертних досліджень приладів обліку електричної енергії, які зазнали впливу радіочастотного електромагнітного випромінювання.

References

- Baranov, M. I. (2016). Antologiya vydaiushchikhsia dostizhenii v nauke i tekhnike. Chast 33: Elektromagnitnaia sovместimost i zashchita ot vozdeistviia moshchnykh elektromagnitnykh pomekh radioelektronnoho, elektrotekhnicheskogo i elektroenergeticheskogo oborudovaniia. *Elektrotekhnika i Elektromekhanika*, 4, 3–15 [in Russian].
DOI: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2016.4.01>
- Bezvesilna, O. M., & Korotchenko, N. P. (2013). Peretvoriuvach analogovoho syhnalu u tsyfrovoyi optyko-elektronnoho akselerometra. *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy*, 3–4, 36–38. http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Viau_2013_3-4_9.pdf [in Ukrainian].
- Bohdaniuk, I. V., Rohalin, S. V., & Suprun, V. S. (2020). Doslidzhennia roboty krokovoho dvyhuna prykladiv obliku elektrychnoi enerhii pid vplyvom dii zovnishnoho postoiinoho mahnitnoho polia, utvorenoho z metoiu bezoblikovoho spozhyvannia elektrychnoi enerhii. *Teoriia ta praktyka sudovoi ekspertyzy i kryminalistyky*, 22(2), 442–460 [in Ukrainian].
DOI: <https://doi.org/10.32353/khrife.2.2020.36>
- Burenina, N. S. (2019). Problemy otneseniia k bezuchetnomu potrebleniiu fakta ekspluatatsii priborov ucheta za predelami mezhpoverochnogo intervala. *Iuridicheskaiia nauka*, 11, 7–14 [in Russian].
- DP «Ukrmetrteststandart». (2010). DSTU EN 50470-3:2010 *Zasoby vymiriuvannia elektrychnoi enerhii zminnoho strumu. Chastyna 3. Spetsialni vymohy. Lichylnyky aktyvnoi enerhii statychni (klasiv tochnosti A, V i S) (EN 50470-3:2006, IDT)*. [Chynnyi vid 01.07.2012]. BUDSTANDART Online – normatyvni dokumenty budivelnii haluzi Ukrainy. Uziato 11.08.2021 iz http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54740 [in Ukrainian].
- Goldshstein, L. D., & Zernov, N. V. (1971). *Elektromagnitnye polia i volny*. (2-e izd., pererab. i dop.). M.: Sov. radio. 664 s. [in Russian].
- Govorkov, V. A. (1960). *Elektricheskie i magnitnye polia*. (Izd. 2-e, pererab. i dop.). M.; L.: Gosudarstvennoe energeticheskoe izdatelstvo. 463 s. [in Russian].
- Horbenko, V. O., Dmytriiev, V. O., Ilchenko, B. M., Klymchuk, D. V., Rohalin, S. V., Riabinin, I. M., Syrykh, V. M. (2012). *Metodychni rekomendatsii shchodo provedennia sudovykh elektrotekhnichnykh ekspertyz i ekspertnykh doslidzen*. Kharkiv: KhNDISE. 52 s. https://www.hniise.gov.ua/user_files/File/nauka/2012_gorbenko.pdf [in Ukrainian].
- Khodakovskiy, O., Levchenko, L., Kolumbet, V., Kozachuk, A., & Kuzhavskiy, D. (2021). Rozrakhunkovyi aparat modeliuвання poshyrennia elektromagnitnykh poliv riznoridnykh dzherel. *Suchasni informatsiini systemy*, 5(1), 34–38 [in Ukrainian].
DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.1.04>
- Kliuchnik, A. V., Pirogov, Iu. A., & Solodov, A. V. (2010). Metodicheskie aspekty issledovaniia stoikosti integralnykh mikroskhem v elektromagnitnykh poliakh impulsnogo radioizlucheniia. *Zhurnal radioelektroniki*, 8, 1–27. <http://jre.cplire.ru/jre/aug10/3/text.pdf> [in Russian].
- Kliuchnik, A. V., Pirogov, Iu. A., & Solodov, A. V. (2011). Issledovanie stoikosti integralnykh mikroskhem v elektromagnitnykh poliakh impulsnogo radioizlucheniia. *Radiotekhnika i elektronika*, 56(3), 370–374 [in Russian].
- Kniazev, A. D., Kechiev, L. N., & Petrov, B. V. (1989). *Konstruirovaniie radioelektronnoi i elektronnoi vychislitelnoi apparatury s uchptom elektromagnitnoi sovместimosti*. M.: Radio i sviaz, 224 s. il. [in Russian].
- Konstruktorske biuro «Shtorm» Kyivskoho politekhnichnoho instytutu. (1995). DSTU 3254-95 *Radiozviazok. Terminy ta vyznachennia*. [Chynnyi vid 01.07.1996]. BUDSTANDART Online – normatyvni dokumenty budivelnii haluzi Ukrainy. Uziato 11.08.2021 iz http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72635 [in Ukrainian].
- Landau, L. D., & Lifshitz, E. M. (1988). *Teoreticheskaiia fizika. Teoriia polia* (7-e izd., ispr.). M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit. 512 s. [in Russian].
- Lukianchikov, Ye. D., Lukianchikov, B. Ye., & Petriaiiev, S. Yu. (2019). Vykorystannia spetsialnykh znan u kryminalnomu provadzhenii. *Visnyk NTUU «KPI». Politolohiia. Sotsiolohiia. Pravo*, 4(44), 125–130 [in Ukrainian].
DOI: [https://doi.org/10.20535/2308-5053.2019.4\(44\).199742](https://doi.org/10.20535/2308-5053.2019.4(44).199742)
- Maksimov, M. V., Bobnev, M. P., Krivitskii, B. X., Gorgonov, G. I., Stepanov, B. M., Shustov, L. N., & Ilin, V. A. (1976). *Zashchita ot radiopomekh*. M.: Sov. Radio. 496 s. [in Russian].
- Maksvell, Dzh. K. (1989). *Traktat ob elektrichestve i magnetizme* [A treatise on electricity and magnetism]. V 2 t. (B. M. Bolotovskii, I. L. Burshtein, M. A. Miller, & E. V. Suvorova, Per.). M.: Nauka [in Russian].
- Ministerstvo palyva ta enerhetyky Ukrainy. (2005). *SOU-N MPE 40 1 35 110-2005 Dodatkovy vymohy do zasobiv obliku elektroenerhii, spriamovani na zapobihannia nesanktsionovanomu vtruchanniui v yikh robotu*. [Chynnyi vid 12.09.2005]. BUDSTANDART Online – normatyvni dokumenty budivelnii haluzi Ukrainy. Uziato 11.08.2021 iz http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28386 [in Ukrainian].

- Morozov, S. I., & Ivanov, R. A. (2021). Problema razrusheniia provodiashchikh tonkoplenochnykh struktur v integralnykh mikroskhemakh pod vozdeistviem SVCh-izlucheniia. *Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 1-1(52), 84–87 [in Russian].
DOI: 10.24411/2500-1000-2021-10045
- MTK 232 «Aparatura dlia vymiru elektrychnoi enerhii ta kontroliu navantazhennia». (2000). *HOST 30206-94 Statychni lichylnyky vat-hodyn aktyvnoi enerhii zminnoho strumu (klasy tochnosti 0,2 S i 0,5 S) (МЭК 687-92)*. [Chynnyi vid 01.07.2001]. BUDSTANDARD Online – normatyvni dokumenty budivelnoi haluzi Ukrainy. Uziato 11.08.2021 iz http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=55951 [in Ukrainian].
- MTK 232 «Aparatura dlia vymiru elektrychnoi enerhii ta kontroliu navantazhennia». (2000). *HOST 30207-94 Statychni lichylnyky vat-hodyn aktyvnoi enerhii zminnoho strumu (klasy tochnosti 1 i 2) (МЭК 1036-90)*. [Chynnyi vid 01.07.2001]. BUDSTANDARD Online – normatyvni dokumenty budivelnoi haluzi Ukrainy. Uziato 11.08.2021 iz http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=56701 [in Ukrainian].
- Nikolskii, V. V., & Nikolskaia, T. I. (1989). *Elektrodinamika i rasprostraneniye radiovoln*: ucheb. posobie dlia vuzov (3-e izd., pererab. i dop.). M.: Nauka. Gl. red. fiz-mat. lit. 544 s. [in Russian].
- Panova, O. (2021). Zastosuvannia elektromagnitnykh ekraniv u kompleksi zakhodiv z normalizatsii rivniv fizychnykh faktoriv seredovyshcha. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. Zbirnyk naukovykh prats*, 3(65), 126–129 [in Ukrainian].
DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.3.126>
- Piliukov, Yu. (2019). Vykorystannia spetsialnykh znan u kryminalnykh provadzhenniakh. *Aktualni problemy pravoznavstva*, 4(20), 240–245 [in Ukrainian].
DOI: <https://doi.org/10.35774/app2019.04.240>
- Priimenko, S. D., & Lukin, K. A. (2018). Potok elektromagnitnoi energii pri nalichii potencialnykh elektricheskikh i magnitnykh poliv. *Prikladnaia radioelektronika*, 1,2(17), 28–34 [in Russian].
- Rohalin, S., Bohdaniuk, I., & Lásai, A. (2021). Features of performing expert researches on electricity meters that have been exposed to radiofrequency electromagnetic radiation. *Theory and Practice of Forensic Science and Criminalistics*, 23(1), 270–289.
DOI: <https://doi.org/10.32353/khrife.1.2021.21>
- Sabadash, V. V., Dmytriiev, V. O., Fokin, D. I., Mielientsov, O. M., Riabukhina, V. O., Nosatenko, Yu. O., Dubynka, V. I., Khosha, V. V., Shmereho, O. B., Filipchuk, O. S., & Lysenko, O. V. (Uklad.). (2015). *Metodyka doslidzhennia zasobiv obliku elektrychnoi enerhii ta skhem yikh pidkliuchennia z metoiu vyrishennia diahnostychnykh zavdan*. Kharkiv: KhNDISE. 20 s. [in Ukrainian].
- Semchuk, N. (2019). Zahalnovidomi fakty v kryminalnomu protsesi Ukrainy (na prykladi rivnian Maksvela). [reprint] *Perspectives of science and education*. Proceedings of the 9th International youth conference. SLOVOWORD, New York, USA. P. 25–30 [in Ukrainian].
DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3605521>
- Shapiro, D. N. (1975). *Osnovy teorii elektromagnitnogo ekranirovaniia*. L.: Energiia. 112 s., il. [in Russian].
- Shmereho, O. B. (2017). Osoblyvosti provedennia sudovykh elektrotekhnichnykh ekspertyz prykladiv obliku spozhytoi elektrychnoi enerhi. *Kryminalistyka i sudova ekspertyza*, 62, 294–302. <https://digest.kndise.gov.ua/wp-content/uploads/2019/03/a2fc25cb69-294-302.pdf> [in Ukrainian].
- Starodubtsev, Iu. I., & Akishin, A. V. (2018). Eksperimentalnaia metodika i rezultaty obrabotki dannykh ob elektromagnitnoi obstanovke v ultrakorotkovolnovom diapazone. *Sistemy upravlinnia, sviazi i bezopasnosti*, 4, 226–248. <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-04/12-Starodubtsev.pdf> [in Russian].
- Tsyruk, S. A., & Matiunina, Iu. V. (2017). K voprosu raschetnogo opredeleniia obemov bezdogovornogo i bezuchetnogo elektropotrebleniia. *Promyshlennaia energetika*, 2, 60–62 [in Russian].
- TOV «NIK». (b. d.). *AAShKh.411152.012 NE. Lichylnyky elektrychnoi enerhii NIK 2303L ... E: nastanova z ekspluatatsii. NIK*. Uziato 11.08.2021 iz http://www.nik.net.ua/uploads/RE_2303LE.pdf [in Ukrainian].
- TOV «NIK». (b. d.). *AAShKh.411152.014. Lichylnyky elektrychnoi enerhii NIK 2104...P2: nastanova z ekspluatatsii. NIK*. Uziato 11.08.2021 iz <http://www.nik.net.ua/files/all/2104-electronic/Operating-Instructions-2104-non-tariff-Ru.pdf> [in Ukrainian].

Список використаних джерел

- Baranov, M. I. (2016). Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 33: Электромагнитная совместимость и защита от воздействия мощных электромагнитных помех радиоэлектронного, электротехнического и электроэнергетического оборудования. *Электротехника и Электромеханика*, 4, 3–15.
DOI: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2016.4.01>
- Безвесільна, О. М., & Коротченко, Н. П. (2013). Перетворювач аналогового сигналу у цифровий оптико-електронний акселерометр. *Вісник інженерної академії України*, 3–4, 36–38. http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Viau_2013_3-4_9.pdf
- Богданюк, І. В., Роголін, С. В., & Супрун, В. С. (2020). Дослідження роботи крокового двигуна приладів обліку електричної енергії під впливом дії зовнішнього постійного магнітного поля, утвореного з метою безоблікового

- споживання електричної енергії. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*, 22(2), 442–460.
DOI: <https://doi.org/10.32353/khrife.2.2020.36>
- Буренина, Н. С. (2019). Проблемы отнесения к безучетному потреблению факта эксплуатации приборов учета за пределами межповерочного интервала. *Юридическая наука*, 11, 7–14.
- ДП «Укрметртестстандарт». (2010). ДСТУ EN 50470-3:2010 *Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Частина 3. Спеціальні вимоги. Лічильники активної енергії статичні (класів точності A, B і C) (EN 50470-3:2006, IDT)*. [Чинний від 01.07.2012]. БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України. Узято 11.08.2021 із http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54740
- Гольдштейн, Л. Д., & Зернов, Н. В. (1971). *Электромагнитные поля и волны*. (2-е изд., перераб. и доп.). М.: Сов. радио. 664 с.
- Говорков, В. А. (1960). *Электрические и магнитные поля*. (2-е изд., перераб. и доп.). М.; Л.: Государственное энергетическое издательство. 463 с.
- Горбенко, В. О., Дмитрієв, В. О., Ільченко, Б. М., Климчук, Д. В., Роголін, С. В., Рябінін, І. М., Сирих, В. М. (2012). *Методичні рекомендації щодо проведення судових електротехнічних експертиз і експертних досліджень*. Харків: ХНДІСЕ. 52 с. https://www.hniise.gov.ua/user_files/File/nauka/2012_gorbenko.pdf
- Ходаковський, О., Левченко, Л., Колумбет, В., Козачук, А., & Кужавський, Д. (2021). Розрахунковий апарат моделювання поширення електромагнітних полів різнорідних джерел. *Сучасні інформаційні системи*, 5(1), 34–38.
DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.1.04>
- Ключник, А. В., Пирогов, Ю. А., & Солодов, А. В. (2010). Методические аспекты исследования стойкости интегральных микросхем в электромагнитных полях импульсного радиоизлучения. *Журнал радиоэлектроники*, 8, 1–27. <http://jre.cplire.ru/jre/aug10/3/text.pdf>
- Ключник, А. В., Пирогов, Ю. А., & Солодов, А. В. (2011). Исследование стойкости интегральных микросхем в электромагнитных полях импульсного радиоизлучения. *Радиотехника и электроника*, 56(3), 370–374.
- Князев, А. Д., Кечиев, Л. Н., & Петров, Б. В. (1989). *Конструирование радиоэлектронной и электронной вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости*. М.: Радио и связь, 224 с. ил.
- Конструкторське бюро «Шторм» Київського політехнічного інституту. (1995). ДСТУ 3254-95 *Радіозв'язок. Терміни та визначення*. [Чинний від 01.07.1996]. БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України. Узято 11.08.2021 із http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72635
- Ландау, Л. Д., & Лифшиц, Е. М. (1988). *Теоретическая физика. Теория поля (7-е изд., испр.)*. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 512 с.
- Лук'янчиков, Є. Д., Лук'янчиков, Б. Є., & Петряєв, С. Ю. (2019). Використання спеціальних знань у кримінальному провадженні. *Вісник НТУУ «КПІ». Політологія. Соціологія. Право*, 4(44), 125–130.
DOI: [https://doi.org/10.20535/2308-5053.2019.4\(44\).199742](https://doi.org/10.20535/2308-5053.2019.4(44).199742)
- Максимов, М. В., Бобнев, М. П., Кривицкий, Б. Х., Горгонов, Г. И., Степанов, Б. М., Шустов, Л. Н., & Ильин, В. А. (1976). *Защита от радиопомех*. М.: Сов. Радио. 496 с.
- Максвелл, Дж. К. (1989). *Трактат об электричестве и магнетизме [A treatise on electricity and magnetism]*. В 2 т. (Б. М. Болотовский, И. Л. Бурштейн, М. А. Миллер, & Е. В. Суворова, Пер.). М.: Наука.
- Міністерство палива та енергетики України. (2005). *СОУ-Н МПЕ 40 1 35 110-2005 Додаткові вимоги до засобів обліку електроенергії, спрямовані на запобігання несанкціонованому втручанням в їх роботу*. [Чинний від 12.09.2005]. БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України. Узято 11.08.2021 із http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28386
- Морозов, С. И., & Иванов, Р. А. (2021). Проблема разрушения проводящих тонкопленочных структур в интегральных микросхемах под воздействием СВЧ-излучения. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*, 1-1(52), 84–87.
DOI: 10.24411/2500-1000-2021-10045
- МТК 232 «Апаратура для виміру електричної енергії та контролю навантаження». (2000). ГОСТ 30206-94 *Статичні лічильники ват-годин активної енергії змінного струму (класи точності 0,2 S і 0,5 S) (МЭК 687-92)*. [Чинний від 01.07.2001]. БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України. Узято 11.08.2021 із http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=55951
- МТК 232 «Апаратура для виміру електричної енергії та контролю навантаження». (2000). ГОСТ 30207-94 *Статичні лічильники ват-годин активної енергії змінного струму (класи точності 1 і 2) (МЭК 1036-90)*. [Чинний від 01.07.2001]. БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України. Узято 11.08.2021 із http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=56701
- Никольский, В. В., & Никольская, Т. И. (1989). *Электродинамика и распространение радиоволн: учеб. пособие для вузов (3-е изд., перераб. и доп.)*. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 544 с.
- Панова, О. (2021). Застосування електромагнітних екранів у комплексі заходів з нормалізації рівнів фізичних факторів середовища. Системи управління, навігації та зв'язку. *Збірник наукових праць*, 3(65), 126–129.
DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.3.126>
- Пілюков, Ю. (2019). Використання спеціальних знань у кримінальних провадженнях. *Актуальні проблеми правознавства*, 4(20), 240–245.
DOI: <https://doi.org/10.35774/app2019.04.240>

- Прийменко, С. Д., & Лукин, К. А. (2018). Поток электромагнитной энергии при наличии потенциальных электрических и магнитных полей. *Прикладная радиоэлектроника*, 1,2(17), 28–34.
- Rohalin, S., Bohdaniuk, I., & Lásai, A. (2021). Features of performing expert researches on electricity meters that have been exposed to radiofrequency electromagnetic radiation. *Theory and Practice of Forensic Science and Criminalistics*, 23(1), 270–289.
DOI: <https://doi.org/10.32353/khrife.1.2021.21>
- Сабадаш, В. В., Дмитрієв, В. О., Фокін, Д. І., Меленцов, О. М., Рябухіна, В. О., Носатенко, Ю. О., Дубинка, В. І., Хоша, В. В., Шмерего, О. Б., Філіпчук, О. С., & Лисенко, О. В. (Уклад.). (2015). *Методика дослідження засобів обліку електричної енергії та схем їх підключення з метою вирішення діагностичних завдань*. Харків: ХНДІСЕ. 20 с.
- Семчук, Н. (2019). Загальновідомі факти в кримінальному процесі України (на прикладі рівнянь Максвелла). [reprint] *Perspectives of science and education*. Proceedings of the 9th International youth conference. SLOVOWORD, New York, USA. P. 25–30.
DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3605521>
- Шапиро, Д. Н. (1975). *Основы теории электромагнитного экранирования*. Л.: Энергия. 112 с., ил.
- Шмерего, О. Б. (2017). Особливості проведення судових електротехнічних експертиз приладів обліку спожитої електричної енергії. *Криміналістика і судова експертиза*, 62, 294–302. <https://digest.kndise.gov.ua/wp-content/uploads/2019/03/a2fc25cb69-294-302.pdf>
- Стародубцев, Ю. И., & Акишин, А. В. (2018). Экспериментальная методика и результаты обработки данных об электромагнитной обстановке в ультракоротковолновом диапазоне. *Системы управления, связи и безопасности*, 4, 226–248. <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-04/12-Starodubtsev.pdf>
- Цырук, С. А., & Матюнина, Ю. В. (2017). К вопросу расчетного определения объемов бездоговорного и безучетного электропотребления. *Промышленная энергетика*, 2, 60–62.
- ТОВ «НІК». (б. д.). ААШХ.411152.012 НЕ. Лічильники електричної енергії НІК 2303L ... Е: настанова з експлуатації. НІК. Узято 11.08.2021 із http://www.nik.net.ua/uploads/RE_2303LE.pdf
- ТОВ «НІК». (б. д.). ААШХ.411152.014. Лічильники електричної енергії НІК 2104...P2: настанова з експлуатації. НІК. Узято 11.08.2021 із <http://www.nik.net.ua/files/all/2104-electronic/Operating-Instructions-2104-non-tariff-Ru.pdf>

Стаття надійшла до редакції 26.08.2021

S. Rohalin, Senior Researcher

Engineering and Military Research Laboratory,

National Scientific Center «Hon. Prof. M. S. Bokarius

Forensic Science Institute», Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1934-8977>

email: rohalin@i.ua

THEORETICAL FOUNDATIONS FOR THE IMPLEMENTATION OF EXPERT STUDIES OF ELECTRIC ENERGY METERING DEVICES EXPOSED TO RADIO FREQUENCY ELECTROMAGNETIC RADIATION

The purpose of the article is to systematize the theoretical foundations and expand the methodological base of engineering and technical expert studies of electrical energy metering devices exposed to radio frequency electromagnetic radiation when establishing the fact of interference in their work for the purpose of unaccounted consumption of electrical energy. *Methodology*. To achieve the goal of the task, the reliability of the results and conclusions obtained is ensured by the use of a complex of general scientific and special methods, including formal logical ones, comparison and modeling. The results of the study are based on the generalization of information about the objects of research in forensic examinations carried out at the National Scientific Center «Hon. Prof. M. S. Bokarius FSI». *Scientific novelty*. In the context of electrotechnical research of electrical energy metering devices, the mechanism of the effect of an electromagnetic field in the radio frequency range on the reliability of electrical energy metering has been clarified and the theoretical foundations for the application of electromagnetic shielding have been systematized. *Conclusions*. The regulatory requirements established for the stability of electric energy metering devices from exposure to radio-frequency electromagnetic radiation have been systematized. The mechanism of the effect of radio-frequency electromagnetic radiation and the constructional elements of metering devices sensitive to the action of such radiation are determined. Theoretical substantiation of the use of electromagnetic shielding as an effective technical means of preventing the effect of an electromagnetic field in the radio-frequency range for compliance with the metering of electrical energy is given. The division of the design of electrical energy metering devices into groups is carried out according to the signs of protection against the effects of radio frequency electromagnetic radiation.

Keywords: electric energy metering device; interference with the metering device operation; analog-to-digital converter; electromagnetic radiation; radiation frequency; electromagnetic field; Maxwell's equations; intensity; induction; Umov-Poynting's vector; electromagnetic shielding.

С. В. Рогалин, старший научный сотрудник
лаборатории инженерно-технических и военных исследований,
Национальный научный центр «Институт судебных экспертиз
им. Засл. проф. М. С. Бокариуса», г. Харьков
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1934-8977>
email: rohalin@i.ua

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКСПЕРТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИБОРОВ УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ РАДИОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель статьи заключается в систематизации теоретических основ и расширении методической базы инженерно-технических экспертных исследований приборов учета электрической энергии, подвергшихся воздействию радиочастотного электромагнитного излучения при установлении факта вмешательства в их работу с целью неучтенного потребления электрической энергии. **Методология.** Для достижения цели задания достоверность полученных результатов и выводов обеспечена использованием комплекса общенаучных и специальных методов, в том числе формально-логических, сравнения и моделирования. Результаты исследования основываются на обобщении сведений об объектах исследования в судебных экспертизах, выполняемых в Национальном научном центре «Институт судебных экспертиз им. Засл. проф. Н.С. Бокариуса». **Научная новизна.** В контексте электротехнического исследования приборов учета электрической энергии уточнен механизм воздействия электромагнитного поля в радиочастотном диапазоне на достоверность учета электрической энергии и систематизированы теоретические основы применения электромагнитного экранирования. **Выводы.** Систематизированы нормативные требования, установленные к устойчивости приборов учета электрической энергии от воздействия на них радиочастотного электромагнитного излучения. Определены механизм воздействия радиочастотного электромагнитного излучения и конструктивные элементы приборов учета, чувствительные к действию такого излучения. Теоретически обосновано применение электромагнитного экранирования как действенного технического средства предотвращения воздействия электромагнитного поля в радиочастотном диапазоне на соответствие учета электрической энергии. Выполнено разделение конструктивного исполнения приборов учета электрической энергии на группы по признакам защиты от воздействия радиочастотного электромагнитного излучения.

Ключевые слова: прибор учета электрической энергии; вмешательство в работу прибора учета; аналого-цифровой преобразователь; электромагнитное излучение; частота излучения; электромагнитное поле; уравнения Максвелла; напряженность; индукция; вектор Умова – Пойнтинга; электромагнитное экранирование.